

# MĚŘENÍ NA TLUSTÉ DESCE

Petr HORA, Jiří PÁTEK  
ITS ZČU, Plzeň

*The paper deals with experiment of large thick plate transient response. Experimental data will be used for validation of advanced methods of AE signal analysis. Examples are shown in which the time dependence measured waveforms.*

**Key words :** acoustic emission, material constant, transient elastic waves

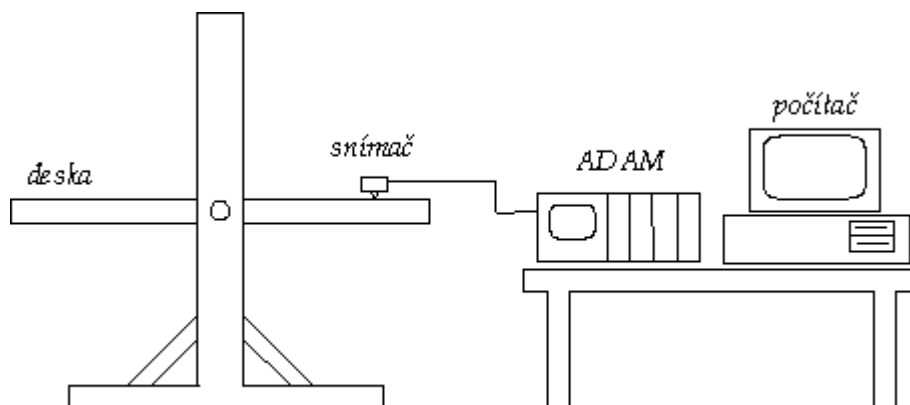
## 1. Úvod

V článku je popsán úvodní experiment na rozlehlé desce, který poslouží k ověřování rozpracovaných metod vyhodnocování signálů akustické emise. Naměřený soubor časových průběhů byl konfrontován s posuvy získanými analytickou cestou z úlohy řešící napjatost tlusté neohraničené desky příčně skokově buzené.

## 2. Experiment

K experimentu byla využita rozměrná deska, která je umístěna v laboratoři ITS ZČU. Jde o ocelový plát, vyrobený na zakázku v závodech Škoda, jehož rozměry jsou 2500x1500x50 mm. Povrch je opracovaný hoblováním. Deska je uchycena v rámu pomocí čtyř šroubů M16 a distančních bloků. Rám je spojen s vlastním stojanem prostřednictvím otočných čepů, deska byla při experimentu ve vodorovné poloze. Experiment přibližuje obr. 1.

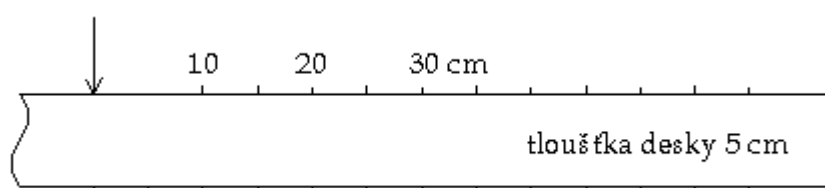
K záznamu signálu z piezosnímače byl použit číslicový 10-bitový osciloskop ADAM TC2010 (4 kanály, citlivost až 10 mV na plný rozsah AD převodníku, vzorkovací frekvence až 20 MHz, paměť 64 Kslov na kanál) firmy Maurer ze Švýcarska. Díky funkci "pretriggering" bylo možné získat průběhy obsahující čelo primární dilatační vlny. Tato vlna se šíří deskou nejrychleji, ale jelikož je její amplituda malá, její náběžná hrana je obtížně detekovatelná. Naměřené průběhy byly přenášeny do počítače PC vybaveného komunikační kartou HP-IB (IEEE488). Jako snímač byl použit piezoelektrický kuželový snímač s válcovým zakončením, který je zhotoven podle [PRO82]. Piezomateriál snímacího kuželu pochází od firmy TERRONIC, a.s., Hradec Králové a nese označení PK274 [TER92]. Tento snímač má citlivost srovnatelnou s rezonančními AE snímači, jeho výhodou je malá kontaktní ploška o průměru pouze 1.5 mm.



Obr. 1 Uspořádání experimentu.

Budícím zdrojem byl lom kapiláry, který lze považovat za skokové odlehčení. Dalším použitým zdrojem byl dopad malé ocelové kuličky jako realizaci impulsního zdroje. Oba zdroje byly považovány za téměř bodové. Drcená kapilára byla z křemenného skla a měla vnější průměr  $300\ \mu\text{m}$  a vnitřní  $95\ \mu\text{m}$ . Kulička o průměru  $5\text{mm}$  a váze  $447\ \text{mg}$  byla spouštěna z výšky  $56\ \text{mm}$ . Snímač byl postupně umisťován  $10, 15, 20$  až  $60\ \text{cm}$  od místa zdroje na horním, tj. shodném povrchu, a na dolním povrchu ve vzdálenostech  $0, 5, 10, 15, \dots, 60\ \text{cm}$ . Měřená místa ilustruje obr. 2.

Místo zdroje i jednotlivá místa snímání byly voleny uprostřed desky. Tím byl zajištěn velmi dlouhý průběh neporušený odrazy od okrajů desky. Od příchodu čela dilatační vlny (čas  $0$ ) bylo vždy zaznamenáno  $2001$  vzorků s krokem  $50\ \text{ns}$ , tj. záznam o délce  $100\ \mu\text{s}$ .



Obr. 2 Měřená místa na desce.

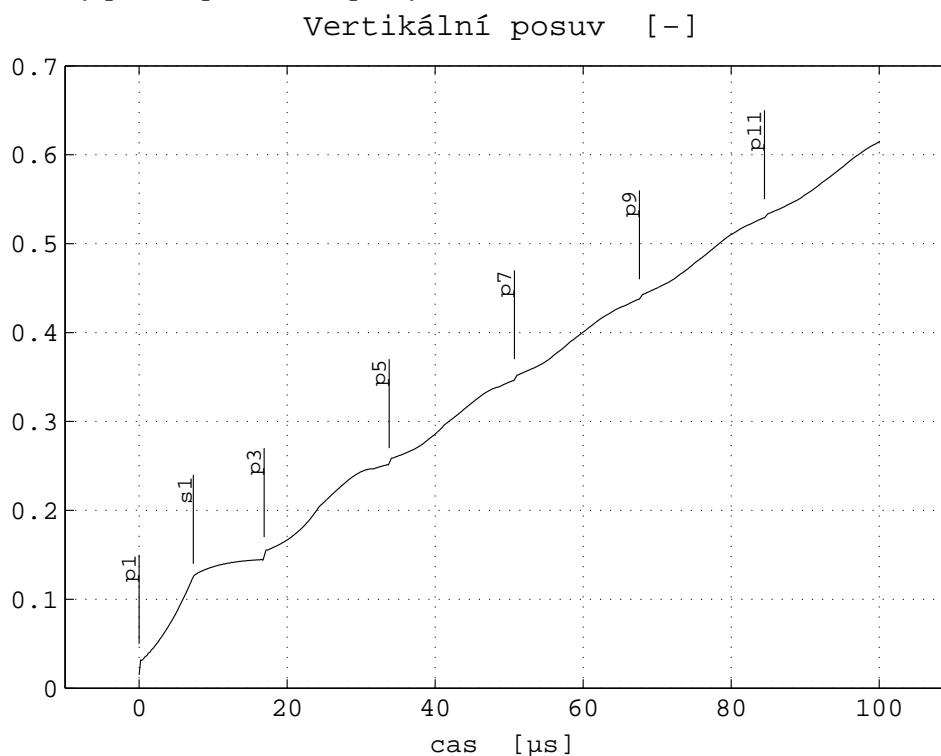
### 3. Teorie

Časové průběhy teoretických vertikálních a horizontálních posuvů byly získány z analytické úlohy řešící napjatost tlusté neohraničené desky příčně skokově zatížené. Zatížení v podobě normálového napětí působí na kruhové oblasti na jediném povrchu. Napětí je na této oblasti konstantní, v čase má tvar skokové funkce. Budící oblast byla při výpočtu volena o poloměru  $1.25\ \text{mm}$ , což je vzhledem k délkám předpočítaných disperzních křivek nejmenší možná velikost.

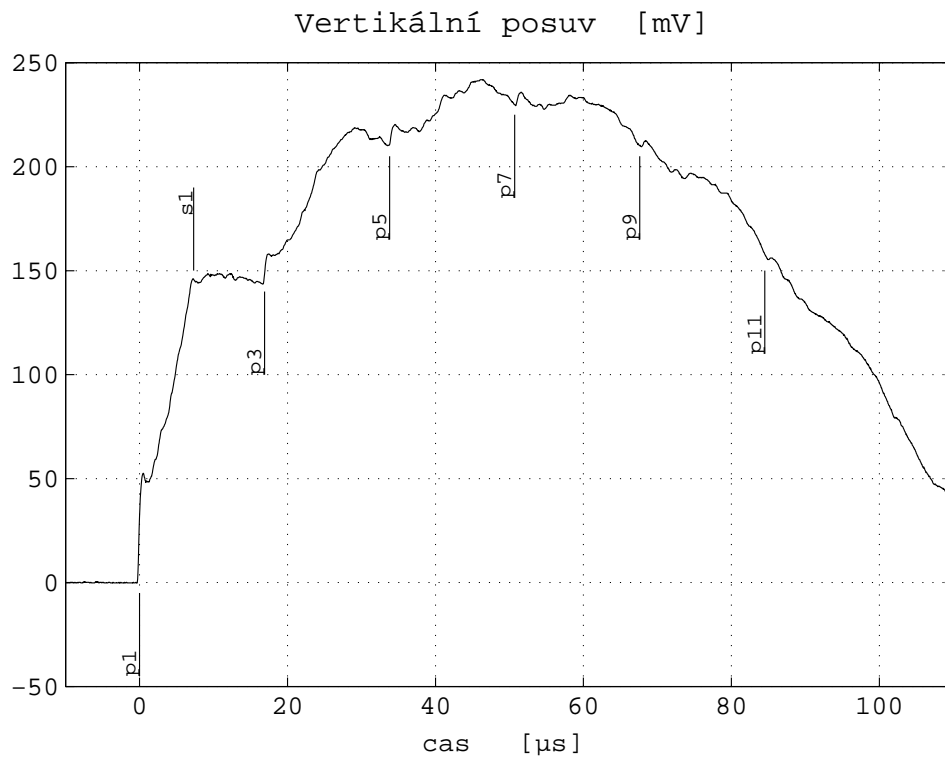
Potom se projevuje rozkolísanost průběhu vlivem nedostatečné horní meze Simpsonovy integrace. Materiál desky je lineární, izotropní a homogenní. Platí teorie malých deformací. Úloha je postavena jako rotačně symetrická, řešení je provedeno ve válcových souřadnicích [VAL83] a [VAL84]. Zčásti byla také využita přesná paprsková metoda, která je v ITS ZČU pro desku také k dispozici [HOR92]. Touto metodou byly získávány pozice jednotlivých vlnových čel, které jsou zakresleny v časových průbězích. Pomocí této metody lze počítat odezvy i na komplikovanější a podpovrchové zdroje, avšak díky tomu, že je založena na sčítání příspěvků všech paprsků odražených do daného místa v jistém čase, stává se pro výpočty dlouhých časových úseků a větší vzdálenosti od zdroje velmi zdlouhavou.

#### 4. Výsledky

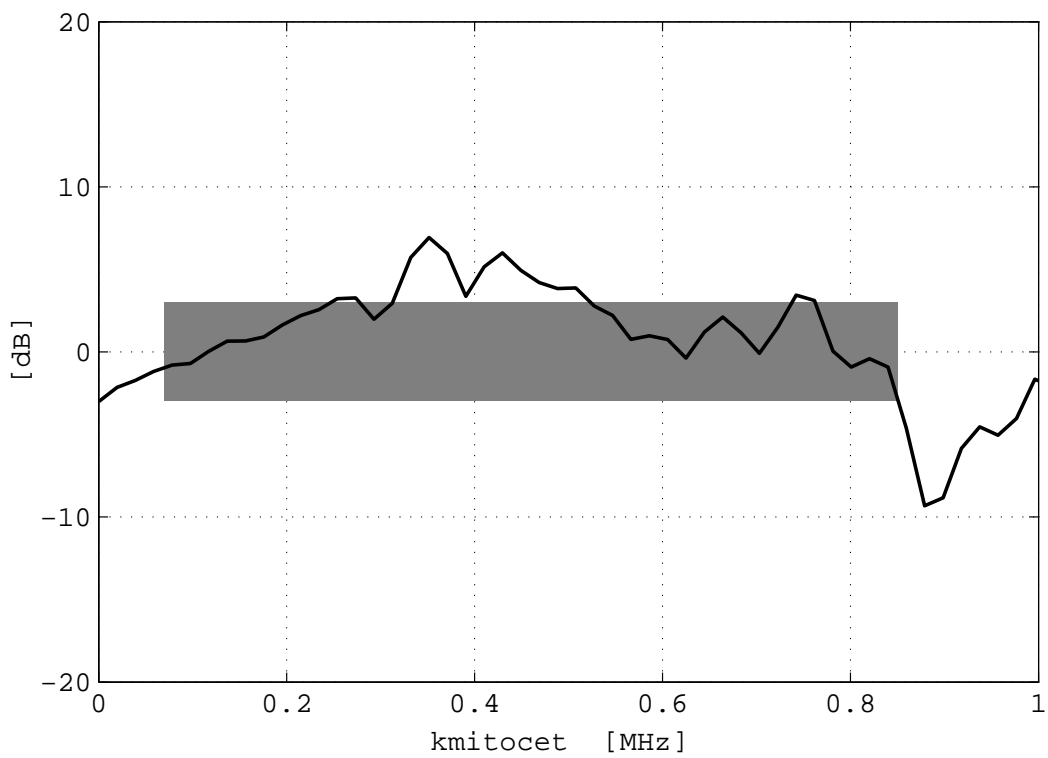
Zajímavým místem je epicentrum na dolním povrchu. Horizontální posuv je zde nulový, takže snímač reaguje pouze na vertikální posuv. Ze změřeného průběhu lze usuzovat na frekvenční charakteristiku snímače. Obr. 3 představuje teoretický vertikální posuv při skokovém buzení, obr. 4 je naměřený průběh při lomu kapiláry.



Obr. 3 Teoretický vertikální posuv v epicentru při skokovém buzení.



Obr. 4 Naměřený "vertikální" posuv v epicentru při lomu kapiláry.



Obr. 5 Frekvenční spektrum použitého snímače.

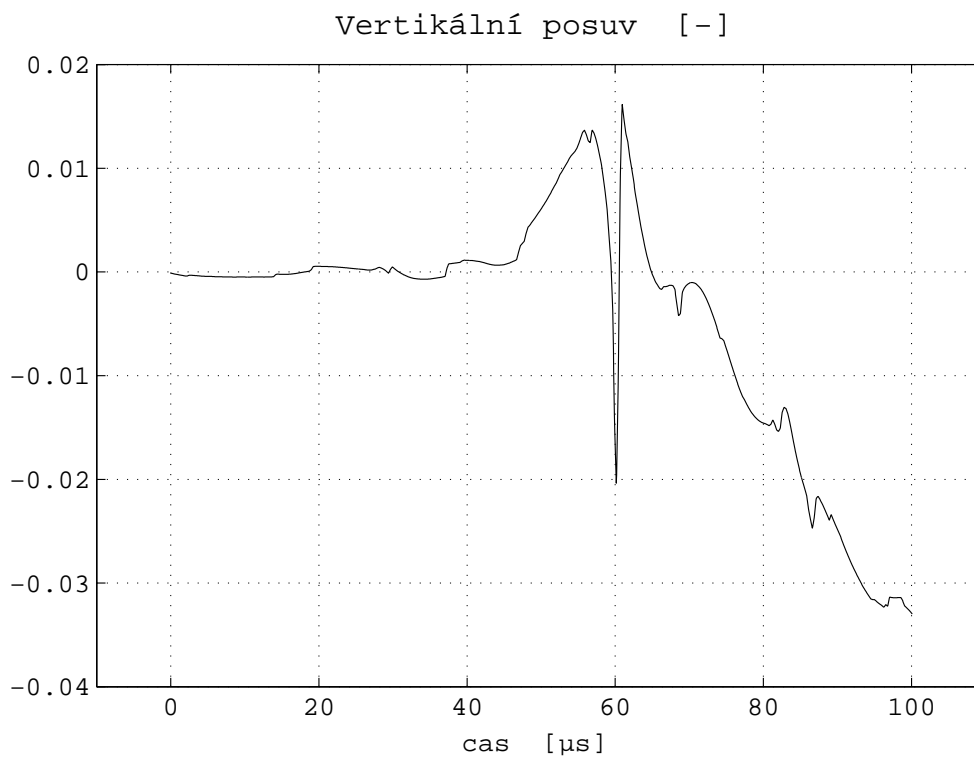
Na základě spekter obou přechodových odezev, změřené a vypočtené, bylo zjištěno poměrové frekvenční spektrum použitého snímače [ŽIT92]. Spektrum přináší obr. 5. V toleranci 6 dB jsou hranice pásma citlivosti snímače 70-850 kHz.

V obr. 3 a 4 jsou zakreslena čela jednotlivých primárních a od povrchů desky odražených vln, písmeno **p** označuje dilatační (primary) vlnu, písmeno **s** představuje smykovou (secondary) vlnu. Číslo, které následuje, znamená počet průchodů prostředím desky.

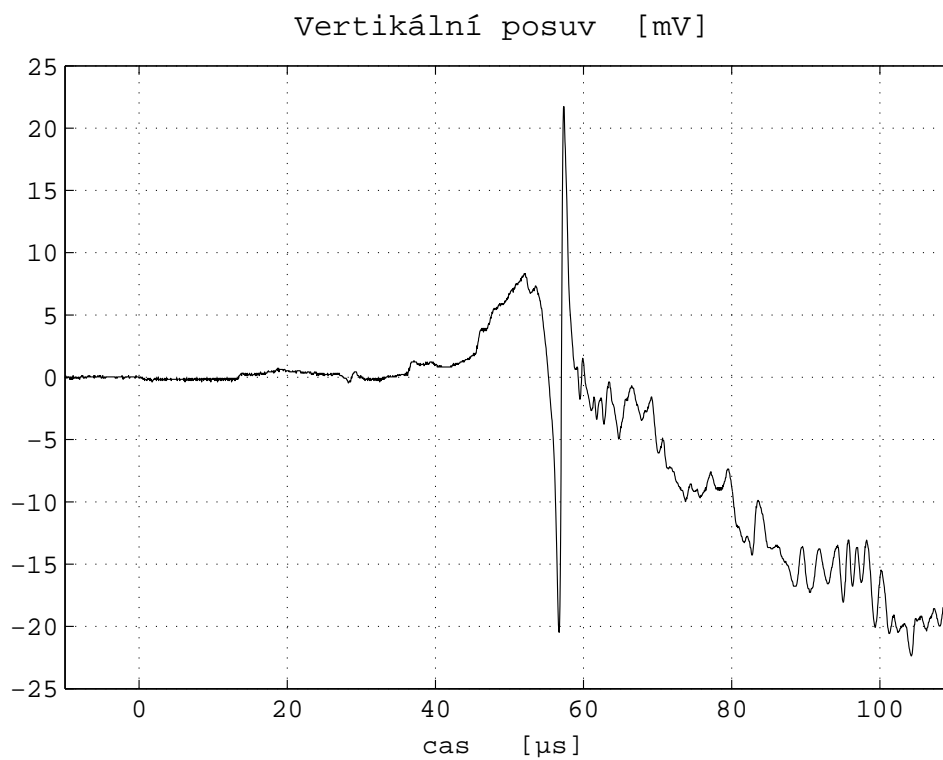
Díky dobré strmosti jednotlivých vlnových čel je možné měření v epicentru použít také k pohodlnému měření rychlosti šíření dilatační ( $c_1$ ) a smykové vlny ( $c_2$ ). Podmínkou je pouze dostatečně jemné vzorkování snímaného signálu. Ze znalosti rychlostí  $c_1$  a  $c_2$  je možné obdržet Poissonovo číslo  $\mu$  a pokud známe i hustotu  $\rho$  získáme moduly pružnosti  $E$  a  $G$ . Jestliže  $k = (c_2 / c_1)^2$ , pak  $\mu = \frac{2k-1}{2(k-1)}$ ,  $G = c_2^2 / \rho$  a  $E = 2(1+\mu)G$ .

Odezvy naměřené při lomu kapiláry lze přímo porovnávat s časovými průběhy teoretických posuvů. Na obr. 6 a obr. 7 jsou zobrazeny vertikální posuvy na horním povrchu ve vzdálenosti 35 cm od místa zdroje. Obr. 6 zaznamenává průběh teoretický, obr. 7 průběh změřený. Na změřené odezvě lze sledovat příchody odražených paprsků. Jednotlivá čela jsou díky klesající citlivosti snímače pod 70 kHz zvýrazněná. Zvýraznění má však příčinu také v určité citlivosti snímače i na horizontální pohyby snímaného povrchu. Proto je tak vhodné zjišťovat frekvenční charakteristiku snímače z měření odezvy v epicentru. Rozbor vlivu horizontálního posuvu je předmětem dalšího výzkumu.

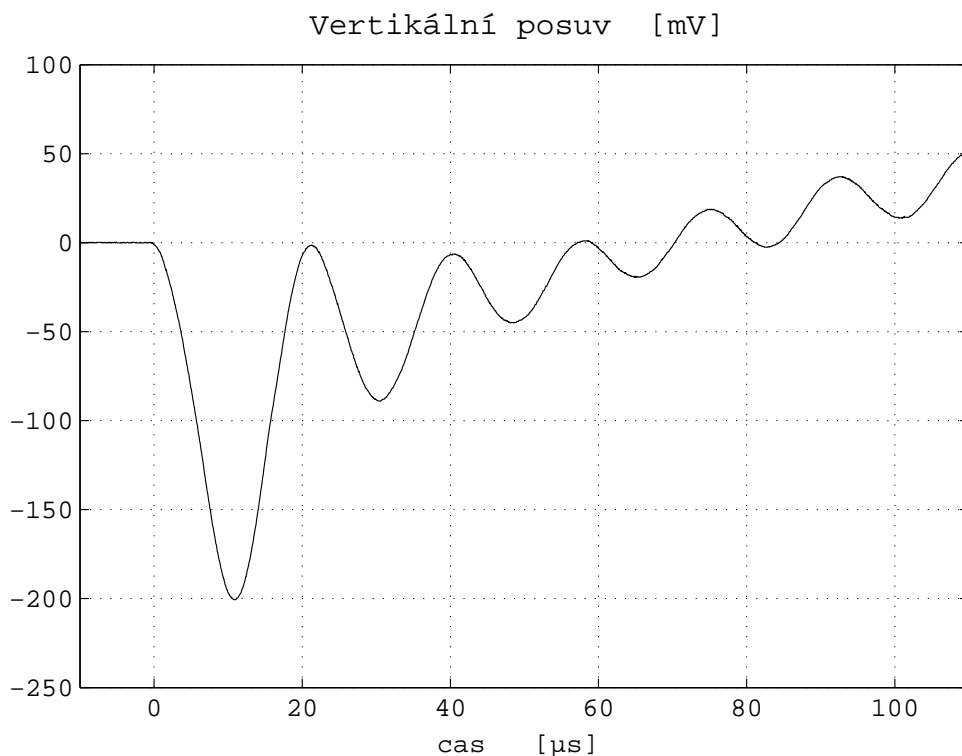
Z měření s impulsním zdrojem v podobě dopadu kuličky představme odezvu na povrchu pod epicentrem - obr. 8. Jak vyplývá z obr. 3 a obr. 4, které byly získány skokovým buzením, v místě pod epicentrem je velmi významný příchod čela přímé dilatační vlny, který uděluje základní tvar odezvy. Průchodem tloušťkou desky se základní skokový tvar zachoval. Proto lze usoudit, že první maximum na obr. 8 představuje průběh rázu dopadající kuličky a je možné odečíst přibližnou dobu rázu, asi 20  $\mu$ s. Doba rázu byla ověřována měřením intervalu vodivého spojení kuličky s povrchem desky. Na kuličku byl připájen vlasový smaltovaný drátek, který posloužil jako kontakt. Doba elektrického kontaktu činila 18  $\mu$ s.



Obr. 6 Teoretický vertikální posuv na horním povrchu ve vzdálenosti 35 cm.



Obr. 7 Změřený vertikální posuv na horním povrchu ve vzdálenosti 35 cm.



Obr. 8 Změřený vertikální posuv v epicentru při buzení dopadem kuličky.

## 5. Závěr

Měření pomocí dopadu kuličky byla bezprostředně využita v inverzních úlohách, jejichž cílem je na základě měřené odezvy zjistit časový průběh rotačně symetrického povrchového zdroje. Popisované měření v epicentru ukazuje, že lze pro impulsní kalibraci snímačů a pro zjišťování dynamických hodnot materiálových konstant vystačit s malou destičkou, která má podélné rozměry velikosti dvou, tří tlouštěk.

## Poděkování

*Práce popsaná v tomto článku byla podporována Grantovou agenturou České republiky prostřednictvím grantu č.101/94/0971 "Nové metody vyhodnocování signálů akustické emise" a uskutečněna v Institutu technologie a spolehlivosti Západočeská univerzity v Plzni.*

## Literatura

- [HAN92] Ch. Hansen, *Regularization Tools*, Danish Computing Center for Research and Education, Lyngby, Denmark, (1992)
- [HOR92] P. Hora, *Teorie zobecněného paprsku a analýza transientních vln ve vícevrstevném pevném tělese*, Výzkumná zpráva ÚTSSK ČSAV, 114VP, Plzeň, (1992)
- [KO67] H.-Y. Ko & R. F. Scott, *Deconvolution techniques for linear systems*, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.57, No.6, str.1393-1408, (1967)
- [PRO82] T. M. Proctor Jr., *An improved piezoelectric acoustic emission transducer*, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 71, str.1163-1168, (1982)
- [RAL78] A. Ralston, *Základy numerické matematiky*, Academia, Praha, (1978)
- [VAL83] F. Valeš, *Napjatost tlusté desky příčně nestacionárně zatížené I*, Výzkumná zpráva ÚT ČSAV, Z847/83, Praha, (1983)
- [VAL84] F. Valeš, *Napjatost tlusté desky příčně nestacionárně zatížené II*, Výzkumná zpráva ÚT ČSAV, Z887/84, Praha, (1984)
- [TER92] TERRONIC, *Materiálový list hmoty PK274*
- [ŽIT92] J. Pátek & P. Hora & F. Valeš & Š. Morávka & J. Červ, *Die Benutzung eines nicht stationären Körperspannungszustandes für die Kalibration von Piezoaufnehmer*, 9.Kolloquium Schallemission, Zittau, 1992